

# KAJIAN DAYA DUKUNG LATERAL TIANG PANCANG MENGUNAKAN ANALISA NUMERIK

Chairul Huda<sup>1</sup>, Eka Priadi<sup>2</sup>, Ahmad Faisal<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura Pontianak

<sup>2</sup>Dosen Teknik Sipil, Universitas Tanjungpura Pontianak

Email : chchairulhuda@gmail.com

## ABSTRAK

Tanah di kota Pontianak merupakan jenis tanah lunak. Kondisi tanah lunak memberikan suatu daya dukung tanah rendah terhadap konstruksi yang akan dibangun di atasnya. Daya dukung baik ditemui pada kedalaman 30 - 40 meter. Tiang pondasi umumnya dapat menahan beban yang akan terjadi, yakni beban lateral tiang pondasi. Beban lateral terjadi pada suatu tiang pondasi berasal dari akibat tekanan tanah lateral, beban angin, beban gempa, gelombang laut, beban benturan kapal, dan lain-lain. Pemberian beban lateral akan menyebabkan terjadi defleksi kepala tiang. Dalam perhitungan fondasi, diperlukan hasil yang efektif, akurat dan dalam waktu yang singkat. Untuk itu, penggunaan program komputer menjadi pilihan utama para insinyur sipil. *Software* LPILE dan GROUP merupakan program komputer untuk menganalisis fondasi tiang. Penelitian kali ini menganalisis tiang pancang tunggal maupun kelompok dengan diameter tiang 6 cm dipancang sedalam 365 cm. Hasil analisis berupa nilai daya dukung lateral dan defleksi kepala tiang berdasarkan perhitungan manual, *loading test*, *software* LPILE (*A Program for the Analysis Foundation Under Lateral Loading*) dan GROUP (*A Program for the Analysis of Piles in a Group*). yang kemudian hasilnya dibandingkan.

**Kata Kunci** : beban lateral, tiang pancang, daya dukung lateral, defleksi, *software*

## ABSTRACT

Soil in the city of Pontianak is a type of soft soil. Soft soil conditions provide a low soil carrying capacity for the construction to be built on it. Carrying capacity is good at depths of 30-40 meters. Foundation piles generally can withstand the load that will occur, namely the lateral load of the foundation piles. Lateral load occurs on a foundation pile originating from due to lateral earth pressure, wind loads, earthquake loads, sea waves, ship impact loads, and others. Lateral loading will cause pile head deflection. In calculating the foundations, effective, accurate and short time results are needed. For this reason, the use of computer programs is the first choice for civil engineers. The LPILE and GROUP software are computer programs for analyzing the pillar foundations. This study analyzed single and group piles with a diameter of 6 cm piles 365 cm deep. The results of the analysis in the form of lateral bearing capacity and mast head deflection based on manual calculations, loading tests, LPILE software (*Program for the Analysis Foundation Under Lateral Loading*) and GROUP (*A Program for the Analysis of Piles in a Group*). then the results are compared.

**Keywords**: lateral load, pile, lateral bearing capacity, deflection, software.

## I. PENDAHULUAN

Tiang fondasi pada umumnya dapat menahan beban-beban yang akan terjadi. Salah satu beban yang perlu diperhitungkan dalam perencanaan tiang pondasi adalah beban lateral. Beban lateral yang terjadi pada suatu tiang pondasi dapat terjadi akibat dari tekanan tanah lateral, beban angin, beban gempa, gelombang laut (untuk pondasi penahan

gelombang), beban benturan kapal (untuk pondasi dermaga) dan lain-lain.

Pengujian beban lateral di lapangan dapat dilakukan dengan metode uji pembebanan tiang (*pile loading test*). Uji pembebanan tiang (*pile loading test*) adalah suatu metode yang digunakan dalam pemeriksaan terhadap sejumlah beban yang dapat didukung oleh suatu struktur dalam hal ini adalah pondasi. *Pile loading test* diperlukan untuk membuktikan akurasi perhitungan desain kapasitas daya dukung tiang di lapangan.

Arus teknologi menyebabkan perhitungan secara manual tereduksi oleh pemanfaatan teknologi komputer. Namun komputer sendiri tidak dapat melaksanakan proses perhitungan tanpadilengkapi perangkat lunak berupa program. Program disusun dengan menggunakan bahasa mesin tingkat tinggi(*high level language*). Dalam penelitian ini akan mengangkat dua program Ensoft yang cukup populer di dunia Teknik Sipil : LPILE (*A Program for the Analysis Foundation Under Lateral Loading*) dan GROUP (*A Program for the Analysis of Piles in a Group*).

Penggunaan tiang pancang dalam upaya memperbaiki daya dukung tanah yang kurang baik yaitu dengancara merencanakan suatu pondasi yang kuat. Banyak ahli teknik sipil melakukan perhitungan daya dukung tiang pancang pada pondasi secara manual di lapangan. Hal ini tentu menuntut para ahli teknik sipil untuk teliti dalam pelaksanaan di lapangan sehingga diperoleh hasil yang akurat. Berdasarkan uraian diatas, maka permasalahan yang timbul dalam penulisan penelitian ini adalah berapa besar pengaruh program Ensoft terhadap perhitungan dayadukung lateral tiangpancang di tanahlunak.

Tujuan yang akan dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Menentukan besarnya nilai daya dukung lateral dan defleksi tiang pada suatu tiang pancang tunggal maupun kelompok secara manual berdasarkan data pengujian statis tanah (sifat fisik/mekanis tanah, data sondir, dan uji pembebanan tiang/*loading test*).
- Menentukan besarnya nilai daya dukung lateral tiang pancang tunggal menggunakan *software* LPILE Plus 2015.8.0.3(*A Program for the Analysis Foundation Under Lateral Loading*).
- Menentukan besarnya nilai daya dukung lateral kelompok tiang menggunakan *software* GROUP 2016.10.12 (*A Program for the Analysis of Piles in a Group*).
- Membandingkan nilai daya dukung lateral tiang tunggal yang didapat dari perhitungan secara manual terhadap nilai daya dukung lateral tiang tunggal yang dihasilkan dari *software* LPILE Plus2015.8.0.3.
- Membandingkan nilai daya dukung lateral kelompok tiang yang didapat dari perhitungan secara manual terhadap nilai daya dukung lateral kelompok tiang yang dihasilkan dari *software* GROUP 2016.10.12.

Dalam penelitian ini dibatasi beberapa hal yang mempersempit permasalahan yang akan dibahas, yaitu :

- a) Data yang digunakan merupakan data sekunder hasil penelitian dengan judul “Studi Daya Dukung Lateral pada Pondasi Tiang Grup dengan Konfigurasi 2 x 2 (Agustinus Akon, 2017)” dan dengan judul tugas akhir “Studi Daya Dukung Lateral pada Pondasi Tiang Grup dengan Konfigurasi 2 x 3 (Arie Pamungkas, 2017)”
- b) Analisa tiang pancang ditinjau akibat pembebanan lateral yang diberikan,
- c) Analisa difokuskan pada aspek nilaidefleksi kepala tiang,
- d) Fondasi tiang pancang terpasang dengan kondisi ujung tiang bebas (*free-end piles*),
- e) Analisa tiang pancang dilakukan dengan dua cara, yaitu manual dan menggunakan perangkat lunak (*software*) *software*LPILE 2015.8.0.3(*A Program for the Analysis Foundation Under Lateral Loading*) dan GROUP 2016.10.12 (*A Program for the Analysis of Piles in a Group*),
- f) Analisa manual tiang tunggal menggunakan metode Broms (1964),
- g) Analisa manual tiang kelompok menggunakan metode Reese et al (2006).

## II. METODOLOGI DAN PUSTAKA

### Fondasi Tiang

Fondasi tiang adalah elemen struktur yang berfungsi meneruskan beban ke tanah, baik beban arah vertikal maupun beban arah horizontal.

Jenis pondasi kayu memiliki elastisitas yang juga biasa disebut dengan modulus elastisitas (E). Tegangan ijin dan modulus elastisitas kayu dapat dilihat dari pedoman PKKI 1961 pada Tabel 1  
Tabel 1. Tegangan Ijin Kayu (Peraturan Konstruksi Kayu Indonesia NI-5 PKKI 1961)

Tegangan	Kelas kuat				Jati
	I	II	III	IV	
$\sigma_{lt}$ MPa	15	10	7,5	5	13
$\sigma_{tr} \backslash$ MPa	13	8,5	6	4,5	11
$\sigma_{tk \perp}$ (MPa)	4	2,5	1,5	1	3
$\tau \backslash$ (MPa)	2	1,2	0,8	0,5	1,5

Tabel 2. Modulus Elastisitas (E) Kayu (Peraturan Konstruksi Kayu Indonesia NI-5 PKKI 1961)

Kelas Kuat Kayu	Elastisitas (E) (kg/cm <sup>2</sup> )
I	125.000
II	100.000
III	80.000
IV	60.000

## Tiang dengan Beban Lateral

Dalam analisis, kondisi kepala tiang dibedakan menjadi kondisi kepala tiang bebas (*free head*), dan kepala tiang terjepit (*fixed head* atau *restrained*).

Dalam penelitian ini akan menggunakan metode Broms (1964).

## Penentuan Kriteria Tiang Pendek dan Panjang

Tiang dalam tanah kohesif pengkaitan tipe tiang dan jepitan tiang berdasarkan faktor tak berdimensi  $\beta L$  menurut Broms adalah sebagai berikut:

$$\beta = \left( \frac{K_h \cdot d}{4 \cdot E_p \cdot I_p} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (1)$$

dimana:

$\beta$  = faktor tak berdimensi

$L$  = panjang tiang (m)

$k_h$  = Modulus tanah ( $\text{kN/m}^3$ )

$d$  = diameter tiang (m)

$I_p$  = momen inersia tiang ( $\text{m}^4$ )

$E_p$  = modulus elastisitas tiang ( $\text{kN/m}^2$ )

- Tiang ujung bebas berkelakuan seperti tiang pendek  $\beta L < 1,5$
- Tiang ujung jepit berkelakuan seperti tiang pendek  $\beta L < 0,5$
- Tiang ujung bebas dianggap sebagai tiang panjang  $\beta L > 2,5$
- Tiang ujung jepit dianggap sebagai tiang panjang  $\beta L > 1,5$

Tanah terkonsolidasi normal dan tanah berbutir kasar, nilai modulus subgrade tanah umumnya meningkat secara linear terhadap kedalaman, sehingga digunakan kriteria lain yaitu faktor kekakuan untuk modulus tanah konstan  $R$ .

$$R = \sqrt[4]{\frac{E_p \cdot I_p}{K}} \quad (\text{dalam satuan panjang}) \quad (2)$$

Nilai-nilai  $k_1$  yang disarankan oleh Tezaghi (1955), ditunjukkan dalam **Tabel 3** dibawah ini.

Tabel 3. Kriteria Nilai  $k_1$  pada Berbagai Konsistensi Tanah (Terzaghi, 1955)

Konsistensi	Kaku	Sangat kaku	Keras
kohesi undrained $c_u$			
$\text{kN/m}^2$	100-200	200-400	>400
$\text{kg/cm}^2$	1 - 2	2 - 4	>4
$k_1$			
$\text{MN/m}^3$	18 - 36	36 - 72	>72
$\text{kg/cm}^3$	1,80 - 3,60	3,60 - 7,20	>7,2
$k_1$ direkomendasikan			
$\text{MN/m}^3$	27	54	>108
$\text{kg/cm}^3$	2,70	5,40	>10,80

dimana :

$$K = k_h \cdot d \quad (3)$$

$$k_h = \text{modulus tanah} = k_1 / 1,5 \quad (4)$$

$k_1$  = modulus reaksi subgrade dari Terzaghi

$E_p$  = modulus elastisitas tiang ( $\text{kN/m}^2$ )

$I_p$  = momen inersia tiang ( $\text{m}^4$ )

$d$  = diameter tiang (m)

**Tabel 4.** Kriteria Tiang Berdasarkan Nilai Modulus Tanah Konstan ( $R$ ) (Tomlinson, 1977)

Jenis Perilaku Tanah	Modulus
Tanah	Konstan
Pendek (kaku)	$L \leq 2R$
Panjang (elastis)	$L \geq 3,5R$

## Metode Broms

Broms membedakan antara perilaku tiang pendek (kaku) dan panjang (elastis) serta membedakan kondisi kepala tiang dalam kondisi kepala tiang bebas (*free head*) dan kepala tiang terjepit (*fixed head*).

Untuk tanah kohesif seperti tanah lempung, berlaku persamaan sebagai berikut :

$$M_{max} = H_u \cdot (e + 3d/2 + 1/2f) \quad (5)$$

Momen maksimum dapat pula dinyatakan oleh persamaan:

$$M_{max} = (9/4)dg^2cu \quad (6)$$

dimana,

$$f = \frac{H_u}{9 \cdot c_u \cdot d} \quad (7)$$

$$L = 3d/2 + f + g \quad (8)$$

dimana:

$H_u$  = beban lateral (kN)

$d$  = diameter tiang (m)

$e$  = jarak beban lateral dari permukaan tanah (m)

$f$  = jarak momen maksimum dari permukaan

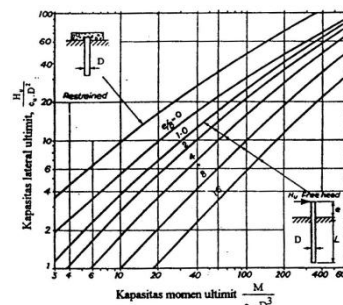
tanah (m)

$g$  = jarak lokasi momen maksimum sampai dasar tiang (m)

$c_u$  = kohesi tanah undrained ( $\text{kN/m}^2$ )

$L$  = panjang tiang (m)

Adapun cara lain untuk menentukan nilai  $H_u$  adalah bila nilai  $c_u$  dan nilai momen ultimit telah diketahui adalah menggunakan grafik hubungan  $M_u/(C_u \cdot D^3)$  dan nilai  $H_u/(C_u \cdot D^2)$  pada **Gambar 4**



**Gambar 1.** Kapasitas beban lateral untuk fondasi tiang panjang padatan kohesif (Broms, 1964).

Dari nilai  $M_u/(C_u \cdot D^3)$  ditarik garis yang menyinggung ke garis  $e/d$  (untuk tiang ujung bebas dan garis paling  $e/d$  untuk tiang jepit). Di titik singgung kita ditarik garis horizontal untuk

menentukan  $H_u/(C_u \cdot D^2)$ . Dari persamaan tersebut kita dapat menentukan nilai daya dukungnya.

Momen maksimum dan gaya lateral ultimit untuk tanah kohesif dapat digunakan menggunakan persamaan berikut ini :

$$H_u = \frac{2 \cdot M_u}{1,5 \cdot D + 0,5 \cdot f} \quad (9)$$

$$f = \frac{H_u}{9 \cdot C_u \cdot D} \quad (10)$$

Dimana:

$H_u$  = beban lateral (kN)

$M_u$  = momen maksimum (kN-m)

$D$  = diameter tiang (m)

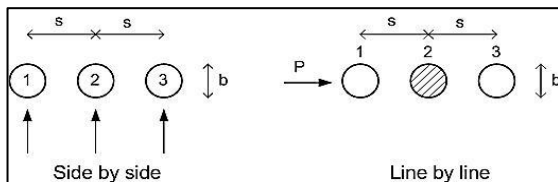
$f$  = jarak momen maksimum dari permukaan tanah (m)

$c_u$  = kohesi tanah undrained (kN/m<sup>2</sup>)

### Faktor Reduksi Tahanan Tanah(NAFAC DM-71 dan Reese et al)

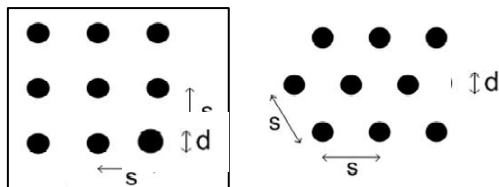
Dalam mendukung beban bangunan tiang fondasi tidak merupakan tiang tunggal, tetapi merupakan kumpulan dari satu, atau beberapa grup tiang.  $Q_a(grup)$  daya dukung lateral grup tiang yang terdiri dari  $n$  buah tiang  $Q_a(grup) = n \times Q_{(single, reduced)}$ , dimana  $Q_{(single, reduced)}$  adalah daya dukung tiang tunggal yang telah memperhitungkan efek grup.

Reese et al juga membedakan layout sebagai *square pattern* dan *triangular pattern*. Faktor reduksi yang dipakai untuk suatu pile grup adalah nilai rata-rata dari faktor reduksi untuk masing-masing tiang di grup tersebut

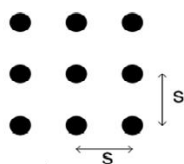


Gambar 2. Arah kerja beban Lateral

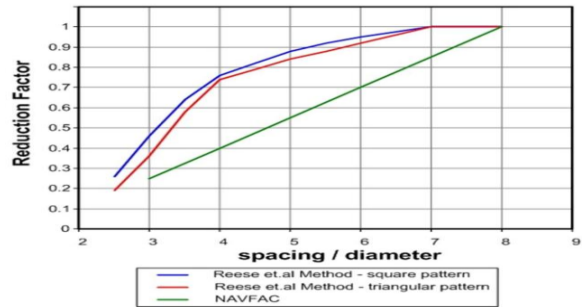
Dalam disain, *lateral capacity group* tiang sama dengan jumlah tiang dikalikan dengan *lateral capacity minimum single pile*



Gambar 3. Square Pattern



Gambar 4. Triangular Pattern



Gambar 5. Faktor reduksi tiang lateral grup berdasarkan Navfac dan Reese et.al

### Defleksi Tiang Vertikal

Defleksi tiang merupakan perubahan posisi yang terjadi pada kepala tiang yang mengalami pembebanan lateral. Metode Broms menggunakan faktor tak berdimensi untuk menentukan besarnya defleksi dan rotasi sebagai berikut:

- Tiang ujung bebas berkelakuan seperti tiang pendek  $\beta L < 1,5$ .

$$\text{Besarnya defleksi; } y_0 = \frac{4H(1 + \frac{1,5e}{L})}{K_h d L} \quad (11)$$

$$\text{Rotasi tiang ; } \theta = \frac{6H(1 + \frac{2e}{L})}{K_h d L} \quad (12)$$

- Tiang ujung jepit berkelakuan seperti tiang pendek  $\beta L < 0,5$

$$\text{Besarnya defleksi; } y_0 = \frac{H}{K_h d L} \quad (13)$$

- Tiang ujung bebas dianggap sebagai tiang panjang  $\beta L > 2,5$

$$\text{Besarnya defleksi; } y_0 = \frac{2H\beta(e\beta + 1)}{K_h d} \quad (14)$$

$$\text{Rotasi tiang ; } \theta = \frac{2H\beta^2(1 + 2e\beta)}{K_h d} \quad (15)$$

- Tiang ujung jepit dianggap sebagai tiang panjang  $\beta L > 1,5$

$$\text{Besarnya defleksi; } y_0 = \frac{H\beta}{K_h d} \quad (16)$$

### Defleksi Ijin Tiang Vertikal

Pada bangunan umumnya gerakan lateral yang ditoleransikan hanya berkisar 6 mm sampai 12 mm. McNulty (1956) menyarankan perpindahan lateral ijin pada bangunan adalah 6 mm, untuk bangunan-bangunan sejenis menara transmisi 12 mm atau sedikit lebih besar. Untuk jembatan perpindahan lateral ijin umumnya 10 mm. Menurut *New York City Building Code* (1808.2.9.3 *Allowable Lateral Support*) pengujian beban yang diijinkan tidak lebih dari 1,5 kali pembebanan yang menghasilkan perpindahan lateral sebesar 1 in (25 mm). Peraturan Dinas P2B No 50 th 2007 memakai batasan defleksi ijin yaitu sebesar 10 mm untuk kondisi kepala tiang “free head” dan 5 mm untuk kondisi “fixed head”.

Selanjutnya data hasil penelitian di atas akan dianalisa menggunakan program Ensoft yaitu; LPILE Plus (*A Program for the Analysis Foundation Under Lateral Loading*) untuk

menganalisa daya dukung tiang pancang tunggal dan GROUP (*A Program for the Analysis of Piles in a Group*) untuk menganalisa daya dukung tiang pancang kelompok konfigurasi 2x2 dan 2x3 dengan variasi jarak untuk masing-masing kelompok tiang adalah 2,5D, 3D, dan 3,5D.

Setelah dilakukan uji laboratorium, uji sondir dan loading test akan di kaji menggunakan program Ensoft yaitu

- LPILE Plus (*A Program for the Analysis Foundation Under Lateral Loading*) yang di gunakan untuk menghitung daya dukung tiang pancang tunggal,
- GROUP (*A Program for the Analysis of Piles in a Group*) yang di gunakan untuk menghitung daya dukung tiang pancang kelompok konfigurasi 2 x 2 dan 2 x 3.

#### LPILE Plus (*A Program for the Analysis Foundation Under Lateral Loading*)

##### Pengenalan LPILE Plus

LPILE Plus merupakan suatu program komputer untuk menganalisis kapasitas perpindahan lateral dari tiang pancang yang dikembangkan secara numeric oleh Ensoft, Inc. LPILE Plus menggunakan dua langkah analisis yang saling berhubungan untuk memberikan informasi tentang perilaku tiang pancang yang diberi beban lateral. Kedua langkah analisis tersebut adalah sebagai berikut:

- Analisis pertama menggunakan tiga rekomendasi metode yang berbeda untuk menghitung kpsitas perpindahan lateral tiang sebagai fungsi dari kedalaman, metode tersebut yaitu: metode Broms dan metode Reese dan Matlock (1956) dengan metode *p-y curve* yang berhasil dikembangkan lebih lanjut oleh Reese dan Van Impe (2001).
- Analisis kedua menggunakan metode transfer beban (*load transfer*) yang menghasilkan kurva distribusi beban terhadap perpindahan pada tiang berdasarkan hasil analisis daya dukung yang telah dipilih sebelumnya.

#### GROUP (*A Program for the Analysis of Piles in a Group*)

##### Pengenalan GROUP

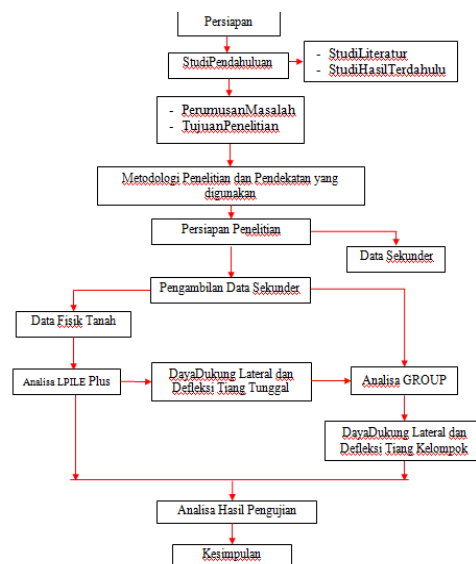
GROUP telah diterima dengan baik sebagai alat yang berguna untuk menganalisis perilaku tumpukan pada tiang kelompok yang dikenai beban aksial dan lateral. GROUP 2016.10.12. memungkinkan pengguna untuk menganalisis perilaku kelompok tiang menggunakan model 2D untuk tiang kelompok dalam tata letak simetris atau model 3D untuk sekelompok tiang yang tidak tersusun secara simetris.

Dalam penelitian yang di lakukan akan menganalisa perilaku pada tiang kelompok yang dikenai beban lateral dan menggunakan model 2 dimensi karena konfigurasi tiang dalam tata letak

simetris yaitu 2 x 2 dan 2 x 3. Dimana *pilecap* tumpukan hanya disematkan pada tiang kelompok. Dan juga respon nonlinier tanah akan di gambarkan dalam bentuk kurva *p-y* untuk pembebanan lateral karena penelitian ini menganalisa beban lateral dan tiang kelompok dianggap kaku.

#### Metodologi Penelitian

Pada dasarnya tujuan pemanfaatan program komputer dalam penelitian ini ialah untuk membandingkan hasil data sekunder dari pengujian yang telah di lakukan dengan hasil perhitungan data dayadukung menggunakan program Ensof yaitu LPILE Plus(*A Program for the Analysis Foundation Under Lateral Loading*) dan GROUP (*A Program for the Analysis of Piles in a Group*).



Gambar 6. Diagram alur penelitian

### III. HASIL DAN ANALISIS

Dalam perhitungan daya dukung lateral dan defleksi tiang pancang tunggal maupun kelompok pada tanah lunak, diperlukan data-data mengenai karakteristik tanah dan dimensi tiang pancang untuk melakukan perhitungan. Selain data tanah dan tiang pancang, juga diperlukan data-data pendukung lainnya guna menyempurnakan perhitungan.

Pada perhitungan daya dukung lateral dan defleksi tiang pancang yang dilakukan oleh (Akon dan Arie, 2017) menggunakan nilai modulus elastisitas kayu ( $E$ ) sebesar 52029 kg/cm<sup>2</sup> dan tegangan ijin kayu ( $\sigma_{it}$ ) sebesar 190 kg/cm<sup>2</sup> menghasilkan nilai daya dukung lateral dan defleksi tiang yang dapat dilihat pada **Tabel 10**. Padapenulisan tugas akhir ini penulis melakukan analisis daya dukung lateral dan defleksi ulang dengan nilai modulus elastisitas kayu ( $E$ ) sebesar 80000 kg/cm<sup>2</sup> dan tegangan ijin kayu ( $\sigma_{it}$ ) sebesar



75 kg/cm<sup>2</sup> berdasarkan Peraturan Konstruksi Kayu Indonesia NI-5 PKKI 1961.

### Tiang Pancang Tunggal

#### Daya Dukung Lateral Tiang Tunggal Berdasarkan Data Uji Laboratorium

Kedalaman 3,5 m – 4,0 m setelah pengujian di laboratorium didapatkan nilai  $c_u = 0,058 \text{ kg/cm}^2$   
 $k_1 = 27 \text{ MN/m}^3 = 2,7 \text{ kg/cm}^3$  (lihat Tabel 3)  
 Besarnya faktor kekakuan untuk modulus tanah konstan (R) adalah :

$$R = (E_p \cdot I_p / k)^{\frac{1}{4}} = (80000 \cdot 63,643 / 10,8)^{\frac{1}{4}} = 26,203 \text{ cm (persamaan 2.10)}$$

$$k = 1,8 \text{ kg/cm}^3 \cdot 6 \text{ cm} = 10,8 \text{ kg/cm}^2 \text{ (persamaan 3)}$$

$$k_h = \frac{2,7 \text{ kg/cm}^3}{1,5} = 1,8 \text{ kg/cm}^3 \text{ (persamaan 4)}$$

Kriteria tiang kaku dan tidak kaku untuk tiang ujung bebas menurut Tomlinson adalah sebagai berikut :

- Tiang ujung bebas kaku/pendek  $L \leq 2R$   
 $365 \text{ cm} \leq 2 \cdot 26,203 \text{ cm}$   
 $365 \text{ cm} > 52,406 \text{ cm}$  ..... Tidak Oke
- Tiang ujung bebas tidak kaku/panjang  $L \geq 3,5 R$   
 $365 \text{ cm} \geq 3,5 \cdot 26,203 \text{ cm}$   
 $365 \text{ cm} \geq 91710,5 \text{ cm}$  ..... Oke

Untuk tiang dalam tanah kohesif pengkaitan tipe tiang dan jepitan tiang berdasarkan factor tak berdimensi  $\beta L$  menurut Broms berdasarkan (persamaan 2.9) adalah sebagai berikut

$$\beta = \left( \frac{K_h \cdot d}{4 \cdot E_p \cdot I_p} \right)^{\frac{1}{4}} = \left( \frac{1,8 \cdot 6}{4 \cdot 80000 \cdot 63,643} \right)^{\frac{1}{4}} = 0,02699 \text{ cm}$$

- Tiang ujung bebas berkelakuan seperti tiang pendek,  $\beta L < 1,5$   
 $\beta L < 1,5$   
 $0,02699 \cdot 365 < 1,5$   
 $9,851 < 1,5$  ..... Tidak Oke
- Tiang ujung jepit berkelakuan seperti tiang pendek,  $\beta L < 0,5$   
 $\beta L < 0,5$   
 $0,02699 \cdot 365 < 0,5$   
 $9,851 < 0,5$  ..... Tidak Oke
- Tiang ujung bebas dianggap sebagai tiang panjang (tiang kaku),  $\beta L > 2,5$   
 $\beta L > 2,5$   
 $0,02699 \cdot 365 > 2,5$   
 $9,851 > 2,5$  ..... Oke
- Tiang ujung jepit bila  $\beta L > 1,5$   
 $\beta L > 1,5$   
 $0,02699 \cdot 365 > 1,5$   
 $9,851 > 1,5$  ..... Oke

Menurut Tomlinson kriteria tiang adalah tiang ujung bebas tidak kaku/panjang. Sedangkan menurut Broms tiang dikategorikan dalam dua

kriteria yaitu: tiang ujung bebas dianggap sebagai tiang panjang dan tiang ujung jepit.

### Momen Maksimum Tiang

$$\text{Tahanan momen, } w = \frac{I_p}{(d/2)} = \frac{63,643}{(6/2)} = 21,214 \text{ cm}^3$$

$$M_y = \sigma_{lt} \cdot w = 75 \text{ kg/cm}^2 \cdot 21,214 \text{ cm}^3 = 1591,05 \text{ kg.cm}$$

### Sebagai Tiang Ujung Bebas

$$f = H_u / (9 \cdot c_u \cdot d)$$

$$= H_u / (9 \cdot 0,058 \cdot 6) = H_u / 3,132 = 0,319 H_u$$

- $M_{\max} = H_u(e + 3d/2 + 1/2f)$
- $M_{\max} = (9/4) d \cdot g^2 \cdot c_u$  (persamaan 6)
- $M_{\max} = M_{\max}$   
 $H_u(e + 3d/2 + 1/2f) = (9/4) d \cdot g^2 \cdot c_u$   
 $H_u(25 + 3.6/2 + 1/2(0,319 H_u)) = (2,25 \cdot 6 \cdot g^2 \cdot 0,058)$

$$H_u(34 + 0,160 H_u) = 0,783 g^2 \text{ ..... persamaan a}$$

- $L = 3d/2 + f + g$  (persamaan 8)

$$g = L - 3d/2 - f$$

$$= 365 - 3.6/2 - 0,319 H_u$$

$$g^2 = (356 - 0,319 H_u)^2$$

$$= 0,1018 H_u^2 - 227,128 H_u + 126736$$

..... persamaan b

- Persamaan a disubstitusikan ke persamaan b maka didapat persamaan berikut:

$$H_u(34 + 0,160 H_u) = 0,783 g^2$$

$$34 H_u + 0,160 H_u^2 = 0,783 (0,1018 H_u^2 - 227,128 H_u + 126736)$$

$$34 H_u + 0,160 H_u^2 = 0,080 H_u^2 - 177,841 H_u + 99234,288$$

$$0,08 H_u^2 + 212 H_u - 99234,288 = 0$$

Dengan menguraikan dan mensubstitusikan persamaan di atas, maka rumus ABC didapatkan nilai  $H_u$  sebagai berikut :

$$H_{u1} = 405,911 \text{ kg} \quad X_1, H_{u1} = 405,911$$

$$H_{u2} = -3055,911 \text{ kg} \quad X_2, H_{u2} = -3055,911$$

Digunakan nilai  $H_u : 405,911 \text{ kg}$

$$F = H_u / (9 \cdot c_u \cdot d) \text{ (persamaan 15)}$$

$$= 405,911 / (9 \cdot 0,058 \cdot 6)$$

$$= 129,601 \text{ cm}$$

$$M_{\max} = H_u(e + 3d/2 + 1/2f) \text{ (persamaan 13)}$$

$$= 405,911(25 + 3.6/2 + 1/2 \cdot 129,601)$$

$$= 40104,209 \text{ kg.cm}$$

$M_{\max} > M_y ; 40104,209 > 1591,05 \text{ kg.cm}$ , maka tiang dianggap sebagai tiang panjang, artinya tiang terlebih dahulu patah. Dengan menganggap momen maksimum adalah momen tahanan dari tiang ( $M_y$ ), maka:

$$H_u = \frac{M_y}{e + 3d/2 + 1/2f}$$

$$= \frac{1591,05}{(25 + 1,5 \cdot 6 + 1/2 \cdot 0,319 H_u)}$$

$$H_u(34 + 0,16 H_u) = 1591,05$$

$$34 H_u + 0,16 H_u^2 - 1591,05 = 0$$

Dengan menguraikan persamaan di atas maka didapatkan nilai  $H_u$  sebagai berikut:

$$H_{u1} = 39,466 \text{ kg} ; \text{ nilai } H_u \text{ yang digunakan}$$

$$Hu_2 = -251,966 \text{ kg}$$

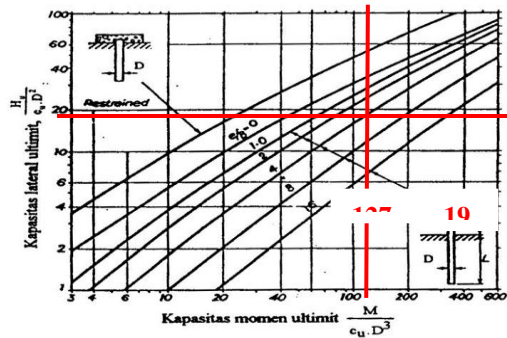
f. Nilai  $Hu$  juga dapat dicari dengan menggunakan grafik dengan cara berikut :

$$\frac{My}{Cu.d^3} = \frac{1591,05}{0,058.6^3} = 127$$

$$e/d = 25/6 = 4,17$$

$$\frac{Hu}{Cu.d^2} = 19 \text{ (nilai didapat dari Gambar 20)}$$

$$Hu = 19 . cu . d^2 = 19 . 0,058 . 6^2 = 39,672 \text{ kg}$$



**Gambar 7.** Grafik plotting nilai  $My/Cud^3$  vs  $Hu/Cud^2$

### Menghitung Defleksi Tiang

a. Tiang ujung bebas

$$y_0 = \frac{2.H\beta.(e\beta+1)}{Kh.d} \quad (\text{persamaan 14})$$

$$= \frac{2.39,466.0,02699.(25.0,02699+1)}{1,8.6}$$

$$= 0,330 \text{ cm}$$

$$= 3,30 \text{ mm}$$

### Defleksi Tiang Pancang Tunggal

Hasil analisa berdasarkan **Tabel 7** didapatkan nilai defleksi metode Brom's dan *loading test* sebagai berikut:

- Metode Brom's = 3,30mm
- *Loading Test* (tiang tunggal 1) = 30,9 mm  
(tiang tunggal 2) = 33,46 mm  
(tiang tunggal 3) = 30,74 mm

Nilai defleksi dari metode Brom's dan *Loading Test* kemudian dicari nilai defleksi rata-rata, sehingga didapat nilai defleksi tiang tunggal (satu) sebesar 17,1 mm, defleksi tiang tunggal (dua) sebesar 18,4 mm dan defleksi tiang tunggal (tiga) sebesar 17 mm.

Nilai rata-rata yang didapat akan menjadi rujukan untuk mendapatkan nilai daya dukung lateral tiang pancang tunggal menggunakan *software* LPILE Plus dengan cara, memasukkan nilai daya dukung lateral tiang tunggal ( $Hu$ ), sehingga mendapatkan nilai defleksi yang sama dengan nilai defleksi rata-rata metode Brom's dan *Loading Test*.

### Daya Dukung Lateral Tiang Tunggal

Hasil analisa sebelumnya didapatkan nilai daya dukung lateral ( $Hu$ ) berbagai metode sebagai berikut:

- Brom's ( $Hu$ ) = 39,466 kg

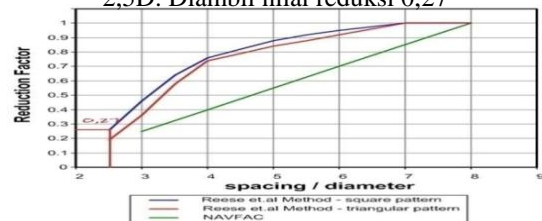
- Sharma ( $Hu$ ) (tiang tunggal 1) = 21 kg  
(tiang tunggal 2) = 12,8 kg  
(tiang tunggal 3) = 19,6 kg
- Elastis Plastis( $Hu$ ) (tiang tunggal 1) = 19 kg  
(tiang tunggal 2) = 59 kg  
(tiang tunggal 3) = 18 kg
- Mazurkiwicz( $Hu$ )(tiang tunggal 1) = 22 kg  
(tiang tunggal 2) = 20 kg  
(tiang tunggal 3) = 24 kg

### Tiang Pancang Kelompok

#### Daya Dukung Kelompok Tiang 2x2

Faktor reduksi untuk menentukan  $Q_{a(group)}$  daya dukung lateral group tiang yang terdiri dari  $n$  buah tiang.  $Q_{(group)} = n \times Q_{(single, reduced)}$  dimana  $Q_{(single, reduced)}$  adalah daya dukung tiang tunggal telah memperhitungkan kelompok tiang. Nilai reduksi tiang

a. Daya dukung tiang grup dengan spasi 2,5D. Diambil nilai reduksi 0,27

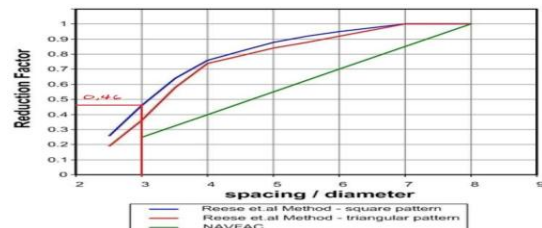


**Gambar 8.** Nilai *reduction factor* pada *spacing /diameter* 2,5 dengan pola Segiempat

$$Q_{(group)} = n \times Q_{(single, reduced)}$$

$$= 4 \times (39,466 \text{ kg} \times 0,27) = 42,623 \text{ kg}$$

b. Daya dukung tiang grup dengan spasi 3D. Diambil nilai reduksi 0,46



**Gambar 9.** Nilai *reduction factor* pada *spacing /diameter* 3 dengan pola segiempat

$$Q_{(group)} = n \times Q_{(single, reduced)}$$

$$= 4 \times (39,466 \text{ kg} \times 0,46) = 72,617 \text{ kg}$$

c. Daya dukung tiang grup dengan spasi 3,5D. Diambil nilai reduksi 0,65



**Gambar 10.** Nilai *reduction factor* pada *spacing /diameter* 3,5 dengan pola segiempat

$$Q_{(group)} = n \times Q_{(single, reduced)} \\ = 4 \times (39,466 \text{ kg} \times 0,65) \\ = 102,611 \text{ kg}$$

### Defleksi Tiang Pancang Kelompok 2 x 2

Hasil analisa berdasarkan **Tabel 8** didapatkan nilai defleksi metode *loading test* sebagai berikut:

- *Loading Test* (tiang grup 2,5D) = 16,74 mm  
(tiang grup jarak 3D) = 30,02 mm  
(tiang grup jarak 3,5D) = 27,67 mm

Analisa nilai defleksi menggunakan metode Brom's dengan mengganti beban lateral (Hu) tunggal dengan beban lateral (Hu) tiang grup 2 x 2 jarak 2,5D, 3D, dan 3,5D didapatkan nilai sebagai berikut:

- Brom's (tiang grup jarak 2,5D) = 3,569 mm  
(tiang grup jarak 3D) = 6,079 mm  
(tiang grup jarak 3,5D) = 8,589 mm

Nilai defleksi dari metode Brom's dan *Loading Test* kemudian dicari nilai defleksi rata-rata, sehingga didapat nilai defleksi tiang pancang kelompok 2 x 2 jarak 2,5D sebesar 10 mm, defleksi tiang pancang kelompok 2 x 2 jarak 3D sebesar 18 mm dan defleksi tiang pancang kelompok 2 x 2 jarak 3,5D sebesar 18,1 mm.

Nilai rata-rata yang didapat akan menjadi rujukan untuk mendapatkan nilai daya dukung lateral tiang pancang kelompok menggunakan *software* GROUP. Dengan cara, memasukkan nilai daya dukung lateral tiang kelompok 2 x 2 jarak 2,5D, 3D, dan 3,5D sehingga mendapatkan nilai defleksi yang sama dengan nilai defleksi rata-rata metode Brom's dan *Loading Test*.

### Daya Dukung Lateral Tiang Kelompok 2 x 2

Hasil analisa sebelumnya didapatkan nilai daya dukung lateral (Hu) berbagai metode sebagai berikut:

- Resee et al (Hu) (tiang grup jarak 2,5D) = 42,623 kg  
(tiang grup jarak 3D) = 72,617 kg  
(tiang grup jarak 3,5D) = 102,611 kg
- Sharma (Hu) (tiang grup jarak 2,5D) = 50 kg  
(tiang grup jarak 3D) = 97 kg  
(tiang grup jarak 3,5D) = 55 kg
- Elastis Plastis (Hu) (tiang grup jarak 2,5D) = 37 kg  
(tiang grup jarak 3D) = 66 kg  
(tiang grup jarak 3,5D) = 36,5 kg
- Mazurkiwicz (Hu) (tiang grup jarak 2,5D) = 68 kg  
(tiang grup jarak 3D) = 136 kg  
(tiang grup jarak 3,5D) = 60 kg

### Daya Dukung Kelompok Tiang 2x3

- a. Daya dukung tiang grup dengan spasi 2,5D. Diambil nilai reduksi 0,27 berdasarkan **Gambar 4.2**.

$$Q_{(group)} = n \times Q_{(single, reduced)}$$

$$= 6 \times (39,466 \text{ kg} \times 0,27) \\ = 63,935 \text{ kg}$$

- b. Daya dukung tiang grup dengan spasi 3D. Diambil nilai reduksi 0,46 berdasarkan **Gambar 4.3**.

$$Q_{(group)} = n \times Q_{(single, reduced)} \\ = 6 \times (39,466 \text{ kg} \times 0,46) \\ = 108,926 \text{ kg}$$

- c. Daya dukung tiang grup dengan spasi 3,5D. Diambil nilai reduksi 0,65 berdasarkan **Gambar 4.4**.

$$Q_{(group)} = n \times Q_{(single, reduced)} \\ = 6 \times (84,792 \text{ kg} \times 0,65) = 330,689 \text{ kg}$$

### Defleksi Tiang Pancang Kelompok 2 x 3

Hasil analisa berdasarkan **Tabel 9** didapatkan nilai defleksi metode *loading test* sebagai berikut:

- *Loading Test* (tiang grup 2,5D) = 30,02 mm  
(tiang grup jarak 3D) = 21,86 mm  
(tiang grup jarak 3,5D) = 32,05 mm

Analisa nilai defleksi menggunakan metode Brom's dengan mengganti beban lateral (Hu) tunggal dengan beban lateral (Hu) tiang grup 2 x 3 jarak 2,5D, 3D, dan 3,5D didapatkan nilai sebagai berikut:

- Brom's (tiang grup jarak 2,5D) = 5,352 mm  
(tiang grup jarak 3D) = 9,118 mm  
(tiang grup jarak 3,5D) = 12,884 mm

Nilai defleksi dari metode Brom's dan *Loading Test* kemudian dicari nilai defleksi rata-rata, sehingga didapat nilai defleksi tiang pancang kelompok 2 x 3 jarak 2,5D sebesar 18 mm, defleksi tiang pancang kelompok 2 x 3 jarak 3D sebesar 15,5 mm dan defleksi tiang pancang kelompok 2 x 3 jarak 3,5D sebesar 22 mm.

Nilai rata-rata yang didapat akan menjadi rujukan untuk mendapatkan nilai daya dukung lateral tiang pancang kelompok menggunakan *software* GROUP. Dengan cara, memasukkan nilai daya dukung lateral tiang kelompok 2 x 3 jarak 2,5D, 3D, dan 3,5D sehingga mendapatkan nilai defleksi yang sama dengan nilai defleksi rata-rata metode Brom's dan *Loading Test*.

### Daya Dukung Lateral Tiang Kelompok 2 x 3

Hasil analisa sebelumnya didapatkan nilai daya dukung lateral (Hu) berbagai metode sebagai berikut:

- Resee et al (Hu) (tiang grup 2,5D) = 63,935 kg  
(tiang grup jarak 3D) = 108,926 kg  
(tiang grup jarak 3,5D) = 153,917 kg
- Sharma (Hu) (tiang grup jarak 2,5D) = 86 kg  
(tiang grup jarak 3D) = 180 kg  
(tiang grup jarak 2,5D) = 74 kg
- Elastis Plastis (Hu) (tiang grup 2,5D) = 123 kg  
(tiang grup jarak 3D) = 244 kg  
(tiang grup jarak 3,5D) = 94 kg



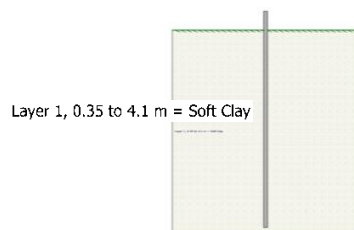
- Mazurkiwicz (Hu)(tiang grup jarak 2,5D)= 194 kg  
 (tiang grup jarak 3D) = 210 kg  
 (tiang grup jarak 3,5D) = 180 kg

### Analisis Daya Dukung Lateral dan Defleksi Tiang Pancang Tunggal Menggunakan LPILE Plus (A Program for the Analysis Foundation Under Lateral Loading)

Untuk mendapatkan nilai daya dukung lateral tiang tunggal pada *software* LPILE Plus yaitu dengan memasukkan nilai daya dukung lateral tiang tunggal dan data yang menjadi rujukan adalah data nilai rata-rata defleksi dari dua metode yaitu metode Brom's dan *Loading Test*. Nilai rata-rata defleksi untuk tiang tunggal (satu) sebesar **17,1 mm**, defleksi tiang tunggal (dua) sebesar **18,4 mm** dan defleksi tiang tunggal (tiga) sebesar **17 mm**.

### Tiang Pancang Tunggal

Model tiang pancang berdasarkan *software* LPILE Plus dapat dilihat dibawah ini.



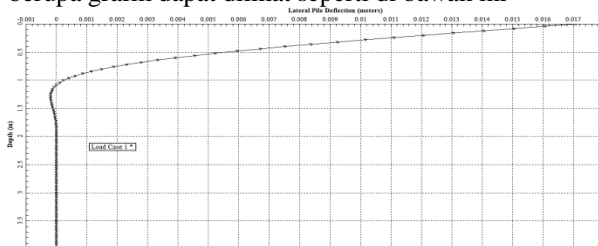
LPILE 2015.8.03, © 2015 by Ensoft, Inc.

**Gambar 11** Model tiang pancang tunggal

**Tabel 13.** Hasil Komputasi *Software* LPILE Plus pada Tiang Tunggal

Tiang Tunggal	
Daya dukung lateral (Hu) (kg)	Defleksi (mm)
30	17
30.5	17.1
31	17.51
31.5	17.9
32	18.4
32.5	18.8
33	19.26

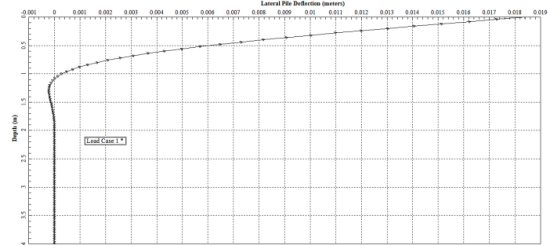
Hasil komputasi berdasarkan metode p-y berupa grafik dapat dilihat seperti di bawah ini



**Gambar 12.** Grafik hubungan perpindahan lateral terhadap kedalaman tiang tunggal 1

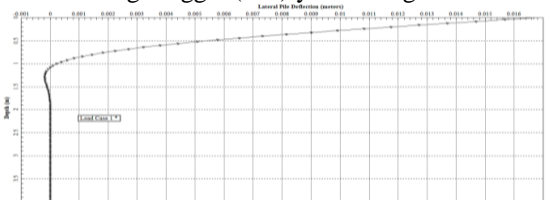
Dari **Gambar 25** diatas, terlihat perpindahan tiang tunggal berdasarkan komputasi

menggunakan LPILE Plus (metode p-y) mendapatkan defleksi tiang sebesar 17,1 mm. Dari **Tabel 13** maka didapat nilai daya dukung lateral tiang tunggal (satu) yaitu 30,5 kg.



**Gambar 13.** Grafik hubungan perpindahan lateral terhadap kedalaman tiang tunggal 2

**Gambar 13** diatas, terlihat perpindahan tiang tunggal berdasarkan komputasi menggunakan LPILE Plus (metode p-y) mendapatkan defleksi tiang sebesar 18,4 mm. Dari **Tabel 13** maka didapat nilai daya dukung lateral tiang tunggal (dua) yaitu 32 kg.



**Gambar 14.** Grafik hubungan perpindahan lateral terhadap kedalaman tiang tunggal 3

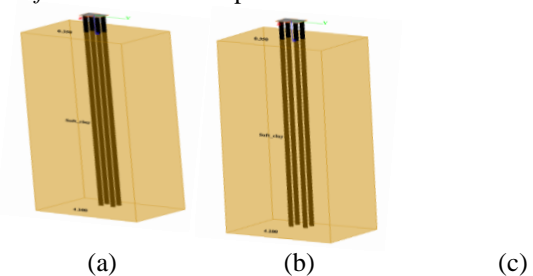
**Gambar 14** diatas, terlihat perpindahan tiang tunggal berdasarkan komputasi menggunakan LPILE Plus (metode p-y) mendapatkan defleksi tiang sebesar 17 mm. Dari **Tabel 13** maka didapat nilai daya dukung lateral tiang tunggal (tiga) yaitu 30 kg.

Analisis Daya Dukung Lateral dan Defleksi Tiang Pancang Kelompok Menggunakan GROUP (A Program for the Analysis of Piles in a Group)

Daya dukung yang akan dianalisis ialah kelompok tiang dengan konfigurasi 2 × 2 dan 2 × 3 dengan jarak untuk masing-masing konfigurasi adalah 2,5D, 3D, dan 3,5D. Tiang pancang dianalisis secara 3 dimensi.

### Tiang Pancang Kelompok Konfigurasi 2 × 2

Model tiang pancang berdasarkan *software* GROUP dapat dilihat dibawah ini.



**Gambar 15.** Model tiang pancang konfigurasi 2 × 2

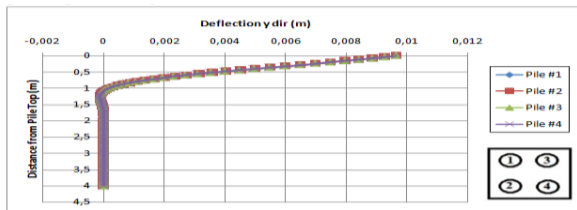
(a) jarak 2,5D (b) jarak 3D (c) jarak 3,5D

**Tabel 14.** Hasil Komputasi *Software* GROUP pada Tiang Kelompok 2 x 2

Grup jarak 2,5D		Grup jarak 3D		Grup jarak 3,5D	
Daya dukung Lateral (Hu)	Defleksi (mm)	Daya dukung Lateral (Hu)	Defleksi (mm)	Daya dukung Lateral (Hu)	Defleksi (mm)
100	5,22	200	16,74	200	13,98
110	6,04	210	18,00	210	15,07
120	6,97	220	19,36	220	16,19
130	7,84	230	20,78	230	17,32
140	8,73	240	22,32	240	18,1
150	10,00	250	23,71	250	19,69
160	10,76	260	25,14	260	20,96
170	11,78	270	26,64	270	22,01
180	12,84	280	27,69	280	23,55
190	13,90	290	29,78	290	24,82
200	15,10	300	31,42	300	25,79

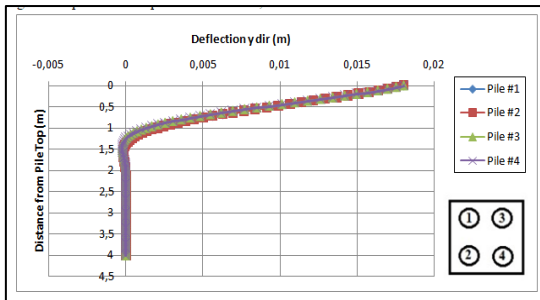
#### Tiang Pancang Kelompok Konfigurasi 2 x 2 Jarak 2,5D

Hasil komputasi defleksi vs kedalaman berdasarkan hasil Metode p-y berupa grafik dapat dilihat seperti di bawah ini;



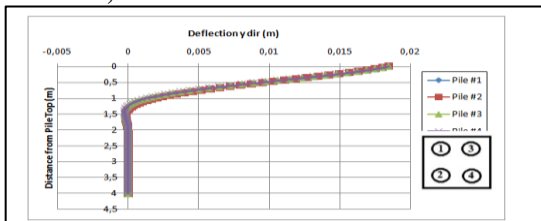
**Gambar 14.** Grafik hubungan perpindahan lateral terhadap kedalaman tiang grup 2 x 2 jarak 2,5D. Dari **Gambar 29** diatas, terlihat perpindahan tiang tunggal berdasarkan komputasi menggunakan GROUP (metode p-y) mendapatkan defleksi tiang sebesar 10 mm. Dari **Tabel 14** maka didapatnilai daya dukung lateral tiang kelompok 2 x 2 jarak 2,5D yaitu 150 kg.

#### Tiang Pancang Kelompok Konfigurasi 2 x 2 Jarak 3D



**Gambar 15.** Grafik hubungan perpindahan lateral terhadap kedalaman tiang grup 2 x 2 jarak 3D. Dari **Gambar 15** diatas, terlihat perpindahan tiang tunggal berdasarkan komputasi menggunakan GROUP (metode p-y) mendapatkan defleksi tiang sebesar 18 mm.

#### Tiang Pancang Kelompok Konfigurasi 2 x 2 Jarak 3,5D



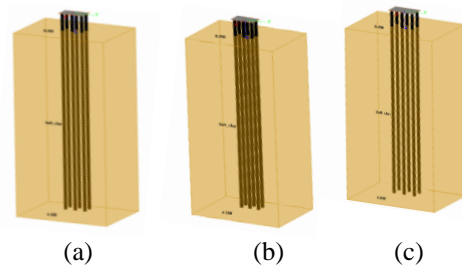
**Gambar 16** Grafik hubungan perpindahan lateral

terhadap kedalaman tiang grup 2 x 2 jarak 3,5D

Dari **Tabel 14** maka didapatnilai daya dukung lateral tiang kelompok 2 x 2 jarak 3D yaitu 210 kg. Dari **Gambar 16** diatas, terlihat perpindahan tiang tunggal berdasarkan komputasi menggunakan GROUP (metode p-y) mendapatkan defleksi tiang sebesar 18,1 mm. Dari **Tabel 14** maka didapatnilai daya dukung lateral tiang kelompok 2 x 2 jarak 3,5D yaitu 240 kg.

#### Tiang Pancang Kelompok Konfigurasi 2 x 3

Model tiang pancang berdasarkan *software* GROUP dapat dilihat dibawah ini.



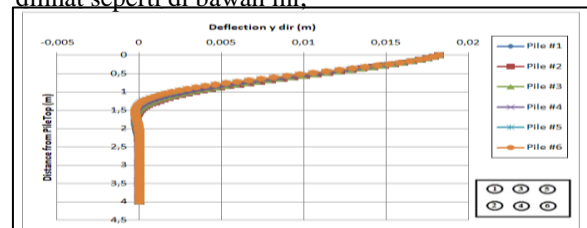
**Gambar 17.** Model tiang pancang konfi. 2 x 3 (a) jarak 2,5D (b) jarak 3D (c) jarak 3,5D

**Tabel 15.** Hasil Komputasi *Software*GROUP pada Tiang Kelompok 2 x 3

Grup jarak 2,5D		Grup jarak 3D		Grup jarak 3,5D	
Daya dukung Lateral (Hu)	Defleksi (mm)	Daya dukung Lateral (Hu)	Defleksi (mm)	Daya dukung Lateral (Hu)	Defleksi (mm)
200	9,61	300	14,07	400	18,53
210	10,36	310	14,84	410	19,21
220	11,12	320	15,50	420	19,96
230	11,97	330	16,37	430	20,74
240	12,79	340	17,14	440	21,46
250	13,64	350	17,87	450	22,00
260	14,47	360	18,76	460	23,23
270	15,36	370	19,63	470	23,89
280	16,27	380	20,44	480	23,68
290	17,26	390	21,30	490	25,36
300	18,00	400	22,10	500	26,30

#### Tiang Pancang Kelompok Konfigurasi 2 x 3 Jarak 2,5D

Hasil komputasi defleksi vs kedalaman berdasarkan hasil Metode p-y berupa grafik dapat dilihat seperti di bawah ini;

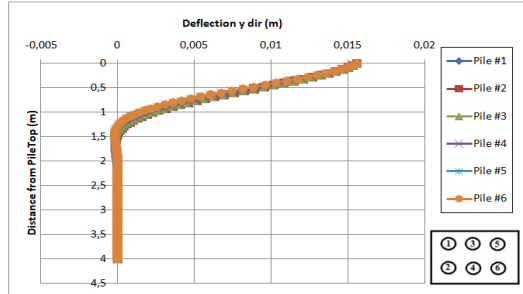


**Gambar 18.** Grafik hubungan perpindahan lateral terhadap kedalaman tiang grup 2 x 3 jarak 2,5D

Dari **Gambar 18** diatas, terlihat perpindahan tiang tunggal berdasarkan komputasi menggunakan GROUP (metode p-y) mendapatkan defleksi tiang sebesar 18 mm. Dari **Tabel 15** maka didapatnilai daya dukung lateral tiang kelompok 2 x 3 jarak 2,5D yaitu 150 kg.

### Tiang Pancang Kelompok Konfigurasi 2 × 3 Jarak 3D

Hasil komputasi defleksi vs kedalaman berdasarkan hasil Metode p-y berupa grafik dapat dilihat seperti di bawah ini;

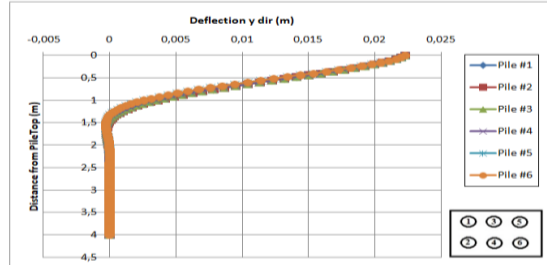


**Gambar 19.** Grafik hubungan perpindahan lateral terhadap kedalaman tiang grup 2 x 3 jarak 3D

Dari **Gambar 19** diatas, terlihat perpindahan tiang tunggal berdasarkan komputasi menggunakan GROUP (metode p-y) mendapatkan defleksi tiang sebesar 15,5 mm. Dari **Tabel 15** maka didapat nilai daya dukung lateral tiang kelompok 2 x 3 jarak 3D yaitu 320 kg.

### Tiang Pancang Kelompok Konfigurasi 2 × 3 Jarak 3,5D

Hasil komputasi defleksi vs kedalaman berdasarkan hasil Metode p-y berupa grafik dapat dilihat seperti di bawah ini;



**Gambar 20.** Grafik hubungan perpindahan lateral terhadap kedalaman tiang grup 2 x 3 jarak 3,5D

Dari **Gambar 20** diatas, terlihat perpindahan tiang tunggal berdasarkan komputasi menggunakan GROUP (metode p-y) mendapatkan defleksi tiang sebesar 22mm. Dari **Tabel 15** maka didapat nilai daya dukung lateral tiang kelompok 2 x 3 jarak 3,5D yaitu 450 kg.

### Hasil dan Pembahasan Analisis Tiang Tunggal Menggunakan Manual Statis Terhadap Program Ensoft

**Tabel 16.** Hasil Analisis Daya Dukung Tiang Tunggal Secara Manual Statis dan Program Ensoft

Model Fondasi	Metode Analitis		Metode Interpretasi Loading Test			Program Ensoft
	Brom's	Elastis Plastis	Sharma	Mazurkiewick	LPile Plus (p-y)	LPile Plus (p-y)
	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)
Tiang Tunggal 1	39,466	19	21	22	30,5	
2	39,466	59	12,8	20	32	
3	39,466	18	19,6	24	30	

**Tabel 17.** Hasil Analisis Defleksi Tiang Tunggal Secara Manual Statis dan Loading Test

Model Fondasi	Metode Analitis		Metode Interpretasi Loading Test	
	Brom's (mm)		Loading Test (mm)	
Tiang Tunggal 1	3,3		30,9	
2	3,3		33,46	
3	3,3		30,74	

### Hasil dan Pembahasan Analisis Tiang Kelompok

#### Menggunakan Manual Statis Terhadap Program Ensoft

**Tabel 18.** Hasil Analisis Daya Dukung Tiang Kelompok Secara Manual Statis dan Program Ensoft

Model Fondasi	Metode Analitis		Metode Interpretasi Loading Test			Program Ensoft
	Ressee et al (kg)		Elastis Plastis (kg)	Sharma (kg)	Mazurkiewick (kg)	GROUP (p-y) (kg)
Jarak 2,5D	42,623		37	50	68	150
Tiang Grup 2x2 Jarak 3D	72,617		66	97	136	210
Jarak 3,5D	102,611		36,5	55	60	240
Jarak 2,5D	63,935		123	86	194	300
Tiang Grup 2x3 Jarak 3D	108,926		244	180	210	320
Jarak 3,5D	153,917		94	74	180	450

**Tabel 19.** Hasil Analisis Defleksi Tiang Kelompok

#### Secara Manual Statis dan Loading Test

Model Fondasi	Metode Analitis		Metode Interpretasi Loading Test	
	Brom's (mm)		Loading Test (mm)	
Jarak 2,5D	3,56		16,74	
Tiang Grup 2x2 Jarak 3D	6,08		30,02	
Jarak 3,5D	8,59		27,67	
Jarak 2,5D	5,35		30,22	
Tiang Grup 2x3 Jarak 3D	9,12		21,86	
Jarak 3,5D	12,88		32,05	

## IV. KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

1. Perhitungan daya dukung lateral tiang tunggal berdasarkan data laboratorium menggunakan metode analitis Brom's didapatkan nilai daya dukung lateral lebih besar terhadap hasil analisis menggunakan software LPILE Plus metode p-y,
2. Perhitungan daya dukung lateral tiang tunggal berdasarkan metode Elastis-Plastis, Sharma dan Mazurkiewick memiliki nilai daya dukung lateral yang lebih kecil terhadap perhitungan menggunakan software LPILE Plus metode p-y,
3. Perhitungan daya dukung lateral tiang kelompok menggunakan metode analitis Reese et al memiliki nilai daya dukung lateral lebih kecil dari perhitungan menggunakan software GROUP metode p-y,
4. Perhitungan daya dukung lateral kelompok tiang metode metode Elastis-Plastis, Sharma, dan Mazurkiewick memiliki nilai daya dukung lateral lebih kecil dari perhitungan menggunakan software GROUP metode p-y,
5. Perhitungan defleksi tiang tunggal berdasarkan data laboratorium menggunakan

metode analisis Brom's didapatkan nilai defleksi lebih kecil terhadap hasil analisis menggunakan *Loading Test*,

6. Perhitungan defleksi tiang kelompok 2 x 2 berdasarkan data laboratorium menggunakan metode analisis Brom's didapatkan rata-rata nilai defleksi lebih kecil terhadap hasil analisis menggunakan *Loading Test*,
7. Perhitungan defleksi tiang kelompok 2 x 3 berdasarkan data laboratorium menggunakan metode analisis Brom's didapatkan rata-rata nilai defleksi lebih kecil terhadap hasil analisis menggunakan *Loading Test*.
8. Perbedaan daya dukung lateral tiang tunggal dengan metode *Loading Test* menghasilkan daya dukung lateral yang berbeda. Hal ini terjadi karena faktor kondisi sekitar tiang yang mempengaruhi seperti tingginya kadar air tanah dan kondisi ketahanan dari material kayu itu sendiri.

#### Saran

1. Menguasai menjalankan program yang digunakan dalam penyelesaian tugas akhir dengan mempelajari buku *manual user's* program LPILE Plus dan GROUP atau belajar langsung dari ahlinya,
2. Menggunakan metode analisis yang lebih beragam, dan melakukan perbandingan hasil perhitungan manual terhadap hasil perhitungan dengan menggunakan program,
3. Melakukan pengembangan terhadap penelitian ini dengan lebih mendeskripsikan secara detail pengaruh perbedaan hasil daya dukung lateral tiang tunggal maupun kelompok berdasarkan metode analisis yang berbeda-beda,
4. Kajian ini memang belum dapat dikatakan sempurna, namun kiranya hasil ini dapat dijadikan sebagai data pembandingan terhadap kajian yang menggunakan tema yang sama.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, Joseph E. 1997. *Analisa dan Desain Pondasi*. Jilid 1 Edisi Keempat. Jakarta: Erlangga.
- Bowles, Joseph E. 1999. *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*. Jakarta: Erlangga.
- Das, Braja M., dkk. 1994. *Mekanika Tanah II (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Jilid I. Jakarta: Erlangga.
- Das, Braja M. 1998. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Jilid 1. Jakarta: Erlangga.
- Das, Braja M. 1998. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Jilid 2. Jakarta: Erlangga.

Hardiyatmo, Hary Christady. 1992. *Mekanika Tanah II*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.

Hardiyatmo, Hary Christady. 2008. *Teknik Fondasi 2 Cetakan ke - 4*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.

Reese, Lymon C., *et al.* 2015. *A Program for the Study of Driven Piles under Lateral Loads*. Texas: Ensoft, Inc.

Reese, Lymon C., *et al.* 2016. *A Program for the Analysis of a Group of Piles Subjected to Vertical and Lateral Loading (User's Manual)*. Texas: Ensoft, Inc.

Pamungkas, Arie. 2017. *Studi Daya Dukung Lateral pada Pondasi Tiang Grup dengan Konfigurasi 2 x 3*. Skripsi. Universitas Tanjungpura Pontianak.

Akon, Agustinus. 2017. *Studi Daya Dukung Lateral pada Pondasi Tiang Grup dengan Konfigurasi 2 x 2*. Skripsi. Universitas Tanjungpura Pontianak.

Tomlinson, M. J. 1986. *Foundation Design and Construction. 5th Edition*. England: Longman Scientific & Technical.

Tomlinson, M. J. 1977. *Pile Design and Construction Practice First Edition*. London: View Point Publishing.

Firmansyah, Irawan. 2011. *Laterally Loaded Pile: Efficiency Factor vs Reduction Factor*.